

применяется в качестве добавки ускорителя схватывания и твердения золоцементного камня. Для грануляции рекомендуется состав: 20 % ПЦ + 60 % ЗУ + 20 % ГМШ + 2 %  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

**Выводы.** Разработан состав из малоцементной композиции, включающий в себя золу-уноса, портландцемент, медеплавильный шлак цветной металлургии, применение которого обеспечивает получение заполнителя с прочностью 5 МПа. Получены зависимости, устанавливающие влияние минеральных добавок на прочность золоцементного камня. Минеральные добавки оказывают положительное влияние на формирование структуры золоцементного камня по сравнению с химическими добавками. Наиболее эффективной минеральной добавкой является медеплавильный шлак в количестве 20 масс. % сырьевой смеси и известь в количестве 7 %.

## ЛИТЕРАТУРА

Дворкин, Л. И., Дворкин, О. Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – М.: Феникс, 2007. – С. 368.

А. Ю. Коняев, Ж. О. Абдуллаев, А. В. Макаров, Е. Ю. Обвинцева,  
*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

## ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОННОГО ЛОМА

The paper is devoted to the problem of complex processing of electronic scrap. Pilot industrial sample of electrodynamic separator with the linear induction machine is briefly described. The investigation results of electrodynamic separator for the recovery of aluminium alloys from multi-component electronic scrap are given. Special attention is paid to choosing of the technological efficiency indicators of electrodynamic separation.

Одной из актуальных эколого-экономических задач является переработка твердых металлосодержащих отходов. Независимо от способа переработки таких отходов извлечение из них металлических включений является экономически целесообразным, поскольку не только позволяет получить сырье

для вторичной металлургии, но и обеспечивает безаварийную работу технологического оборудования, перерабатывающего отходы, а также надлежащее качество получаемых при этом товарных продуктов [1–3]. Среди металлосодержащих отходов наиболее ценной группой является электронный лом, содержащий большие доли цветных и благородных металлов. Востребованность утилизации электронного лома связана с взрывообразным ростом применения компьютерной техники и информационных технологий, с распространением электронных систем управления электротехническими объектами и с непродолжительным жизненным циклом такой техники, обусловленным быстрой сменой поколений.

Рассматриваемые отходы являются многокомпонентными и не могут подвергаться непосредственной металлургической переработке без экологических последствий и потери значительной части полезных компонентов. Например, наиболее дешевым способом обработки электронного лома является его обжиг без предварительной механической подготовки. Расход топлива при этом невелик, так как часть энергии обеспечивается за счет горения органических компонентов изоляции. В качестве товарного продукта получается «черновой металл», направляемый на металлургическую переработку. В то же время такая технология характеризуется выбросами в окружающую среду большого количества загрязняющих веществ. Для уменьшения вредных выбросов и получения более качественных конечных продуктов при утилизации электронного лома металлургическим стадиям должны предшествовать подготовительные операции: дробление и грохочение; измельчение и классификация – с последующим обогащением фракций. Такие операции необходимы для раскрытия отдельных компонентов материалов (например, отделения металлов от изоляционных материалов (пластмасс, резины или стекла) [1]). При этом материалы дробятся до крупности менее 20 мм и измельчаются до размеров +0,5 –5,0 мм и менее.

Для получения селективных концентратов алюминиевых и медных сплавов целесообразно применение электродинамических сепараторов с

бегущим магнитным полем. Разработка установок электродинамической сепарации является одним из научных направлений кафедры «Электротехника и электротехнологические системы» Уральского федерального университета [3–5]. На кафедре создан ряд опытных сепараторов, разработаны методы расчета электромагнитных и электромеханических процессов в них, что позволяет решать разнообразные задачи, связанные с обработкой металлодержащих отходов. Применительно к задачам обработки электронного лома показано, что для фракций с крупностью металлических частиц 10–20 мм возможно использование сепараторов на основе трехфазных линейных индукторов, питаемых от стандартной электрической сети с частотой 50 Гц [4–5]. По заказу одного из перерабатывающих предприятий в УрФУ был разработан сепаратор на основе двухстороннего трехфазного линейного индуктора при подаче сепарируемых материалов по наклонной плоскости. Такой сепаратор, схематично показанный на рис. 1, позволяет формировать необходимые траектории движения для частиц дробленого электронного лома с разными физическими свойствами и селективно собирать их в приемники продуктов разделения в конце плоскости подачи.

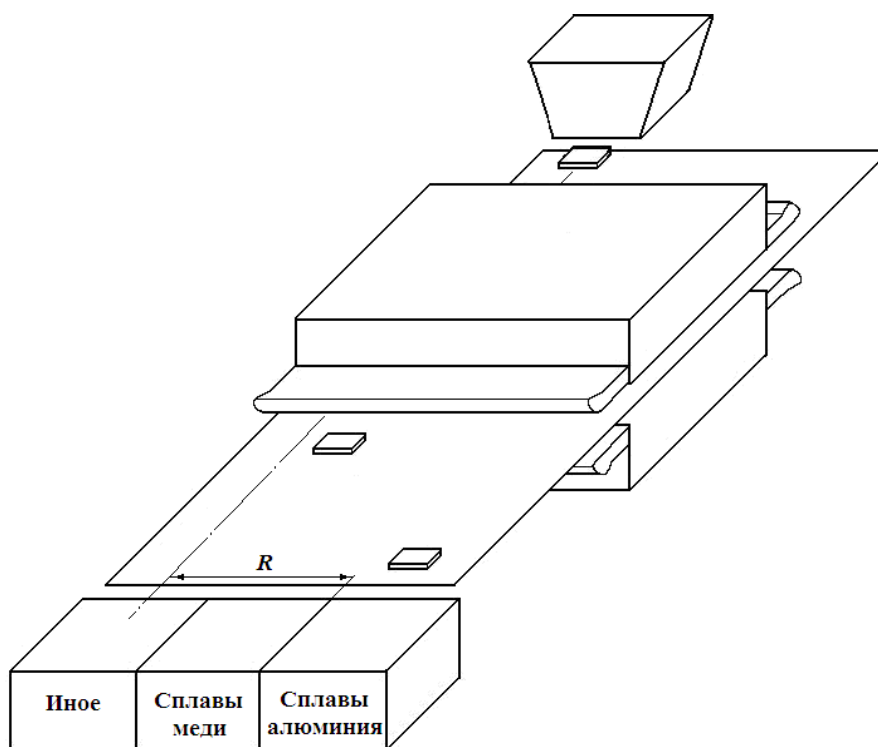


Рис. 1. Схема электродинамического сепаратора для сортировки электронного лома

Дробленый электронный лом подается в зону сепарации по наклонной плоскости вдоль линии подачи. При взаимодействии с бегущим магнитным полем, создаваемым линейным индуктором, частицы немагнитных цветных металлов получают ускорение, направленное поперек линии подачи и зависящее от соотношения электропроводности металла и его удельного веса  $\gamma/\rho$ . Металлы и сплавы, отличающиеся по указанному показателю, собираются на выходе установки в разные приемники продуктов сепарации. В рассматриваемом случае сплавы алюминия, характеризующиеся наибольшим показателем  $\gamma/\rho$ , направляются в приемник концентрата, наиболее удаленный от линии подачи. Сплавы меди получают в поле сепаратора меньшее отклонение и собираются в средний приемник. Иные материалы, содержащиеся в электронном ломе – прежде всего изоляционные материалы, не отклоняются в магнитном поле и перемещаются в крайний левый приемник.

Качество процессов электродинамической сепарации электронного лома может оцениваться теми же технологическими показателями, что и традиционные процессы обогащения. Прежде всего, это степень извлечения полезного компонента  $\epsilon$  и содержание полезного компонента в концентрате  $\beta_k$ . На рис. 2 показаны зависимости достигнутых при испытаниях технологических показателей разработанного опытного сепаратора от положения разделителя потока материалов ( $R$  – расстояние от линии подачи материала до разделителя потока, как показано на рис. 1).

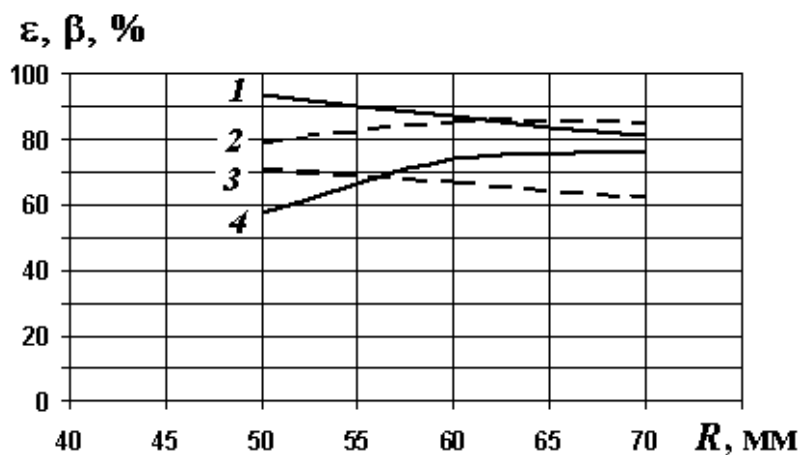


Рис. 2. Показатели сепарации (по массе): степень извлечения (сплошные линии) и содержание (пунктир): 1, 2 – по алюминиевым сплавам (в концентрате); 3, 4 – по медным сплавам (в хвостах)

Результаты соответствуют следующим параметрам установки: ширина индуктора  $L_{\text{и}} = 120$  мм; расстояние от точки подачи материала до индуктора  $L_0 = 130$  мм; расстояние от индуктора до приемников продуктов разделения  $L_{\text{п}} = 300$  мм; угол наклона плоскости подачи  $\alpha = 30^\circ$ . При значении тока индуктора  $I = 9,3$  А амплитуда индукции магнитного поля в зазоре составляет  $B_m = 0,23$  Тл, потребляемая индуктором мощность –  $P = 750$  Вт.

Приведенные на рис. 2 кривые показывают, что степень извлечения из электронного лома алюминиевых сплавов и содержание их в концентрате составляют в зависимости от положения разделителя не менее 80–90 %. Такой концентрат является хорошим сырьем для получения вторичных алюминиевых сплавов. После извлечения алюминия содержание медных сплавов в коллективном концентрате, собираемом в приемник хвостов, составляет 60–70 % (по массе), что в два раза превышает содержание их в исходном ломе. По объему степень концентрации медных сплавов составила 2,5–3,0 раза. Такие показатели означают соответствующее уменьшение расхода кислот при дальнейшей гидрометаллургической переработке медных сплавов и извлечении драгоценных металлов или уменьшение энергопотребления при использовании пирометаллургических методов. Можно отметить, что расчетные характеристики процессов сепарации отличаются от показанных на рис. 2 всего на 15–20 %, что для такой многофакторной задачи является весьма приемлемым результатом.

В целом, выполненные исследования сепараторов и испытания опытного образца подтвердили возможность решения задачи сепарации электронного лома и показали, что разработанные в УрФУ методики расчета физических процессов в сепараторах позволяют рассчитывать технологические характеристики сепарации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шубов, Л. Я. Технология отходов / Л. Я. Шубов, М. Е. Ставровский, А. В. Олейник. – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. – 352 с.

2. Колобов, Г. А. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов / Г. А. Колобов, В. Н. Бредихин, В. М. Чернобаев. – М.: Металлургия, 1993. – 288 с.

3. Коняев, А. Ю. Электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем: основы теории и расчета / А. Ю. Коняев, И. А. Коняев, С. Л. Назаров, Н. Е. Маркин. – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2012. – 104 с.

4. Коняев, И. А. Сепарация металлов из твердых отходов / И. А. Коняев, Н. Е. Маркин, В. Н. Удинцев, А. Ю. Коняев / Экология и промышленность России. – 2006. – № 12. – С. 8–11.

5. Коняев, А. Ю. Переработка электронного лома: применение электродинамических сепараторов / А. Ю. Коняев, С. Л. Назаров, Р. О. Казанцев и др. // Твердые бытовые отходы. – 2014. – № 2. С. 26–30.

И. А. Коняев, Р. Ф. Талипов, Н. С. Якушев,  
*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*

### **ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ СЕПАРАТОРЫ С ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТОЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТХОДОВ ЭЛЕКТРО- И РАДИОТЕХНИКИ**

Preliminary extraction of non-ferrous metallic particles from solid wastes is one of the obligatory conditions in the various technological processes of recycling solid wastes of manufacture and consumption. The technological receptions of extraction of metals from a crowbar and wastes of radio electronic and electric apparatus are considered. The research results of rotating type electrodynamic separator with rare earth permanent magnets for the disintegrated electronic scrap treatment are presented.

Одним из важнейших направлений энерго- и ресурсосбережения, позволяющим одновременно решать природоохранные задачи, является утилизация твердых металлосодержащих отходов. Извлечение металлов из таких отходов позволяет получить относительно дешевое сырье для вторичной металлургии и создает предпосылки для полезного использования остальных компонентов отходов. Наиболее быстрорастущей составляющей твердых отходов, содержащих цветные металлы, являются отходы электро- и радиотехники: электронный лом (отслужившие свой срок компьютеры,